

PROJECTION EXPOSING DEVICE, EXPOSING METHOD AND REFLECTION REDUCTION PROJECTION OPTICAL SYSTEM

Patent Number: JP2000098228
Publication date: 2000-04-07
Inventor(s): TAKAHASHI YUTO
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP2000098228
Application Number: JP19980266129 19980921
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B17/00; G03F7/20; H01L21/027
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an excellent optical performance by a reduced reflection surface.
SOLUTION: A reflection reduction projection optical system 100 is provided with a first catoptric system 10 forming the image of an object on a first surface 11 on a second surface 12 and a second catoptric system 20 forming the image on the second surface on a third surface 13, and the reduced image of the object on the first surface is formed on the third surface. The first catoptric system consists of a pair of first mirrors M1 and M2 constituted of two mirrors, and the second catoptric system consists of a pair of second mirrors M3 and M4 constituted of a convex mirror and a concave mirror.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-98228

(P2000-98228A)

(43) 公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テロート* (参考)
G 0 2 B 17/00		G 0 2 B 17/00	A 2 H 0 8 7
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 7
			5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-266129
(22) 出願日 平成10年9月21日(1998.9.21)

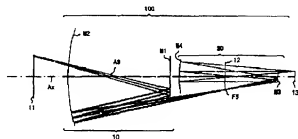
(71) 出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(72) 発明者 高橋 友刀
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
Fターム(参考) 2H087 KA21 NA02 NA04 RA31 RA32
TA00 TA02 TA06
5F046 AA05 AA08 BA04 BA05 CA08
CB03 CB24 DA12

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及び露光方法、並びに反射縮小投影光学系

(57) 【要約】

【課題】 より少ない反射面で優れた光学性能を得る

【解決手段】 反射縮小投影光学系100は、第1面11上の物体を第2面12上に結像する第1反射光学系10と、第2面上の像を第3面13上に結像する第2反射光学系20とを備え、第3面上に第1面上の物体の縮小像を形成する。第1反射光学系は2つのミラーからなる第1ミラー対M1、M2からなり、第2反射光学系は凸面鏡及び凹面鏡からなる第2ミラー対M3、M4からなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】第1面上の物体を第2面上に結像する第1反射光学系と、前記第2面上の像を第3面上に結像する第2反射光学系とを備え、第3面上に第1面上の物体の縮小像を形成する反射縮小投影光学系において、前記第1反射光学系は2つのミラーからなる第1ミラー対からなり、

前記第2反射光学系は凸面鏡及び凹面鏡からなる第2ミラー対からなり、

前記第1及び第2ミラー対は、前記第1面からの光が前記第1ミラー対を経由した後前記第2面上に中間像を形成し、該中間像からの光が前記凸面鏡及び前記凹面鏡の順で前記第2ミラー対を通過して前記第3面へ向かうように位置決めされていることを特徴とする反射縮小投影光学系。

【請求項2】前記第2面上には、視野絞りが配置されていることを特徴とする請求項1記載の反射縮小投影光学系。

【請求項3】前記第1反射光学系は、縮小倍率を有することを特徴とする請求項1または2記載の反射縮小投影光学系。

【請求項4】前記第2反射光学系は、縮小倍率を有することを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項5】前記第1ミラー対を構成する2つのミラーのそれぞれの頂点の間に位置する開口絞りをさらに有し、

該開口絞りは、該開口絞りに入射する光束の全周を囲む形状であることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項6】前記開口絞りは、前記第3面側がテレセントリックとなるように位置決めされることを特徴とする請求項5記載の反射縮小投影光学系。

【請求項7】前記第1ミラー対は、前記中間像側に凹面を向けた凹面鏡を有することを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項8】前記第1ミラー対を構成する2つのミラーの曲率をそれぞれC1、C2とし、前記第2ミラー対中の前記凸面鏡の曲率をC3、前記第2ミラー対中の前記凹面鏡の曲率をC4とすると、

以下の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至7の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

- 0.005 < (C1 - C2) < 0.005

- 0.005 < (C3 - C4) < 0.005

- 0.005 < (C1 - C2) + (C3 - C4) < 0.005

【請求項9】前記第1反射光学系は2枚のミラーのみからなり、

前記第2反射光学系は2枚のミラーのみからなることを特徴とする請求項1乃至8の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項10】前記第1のミラー対を構成するミラーと前記第2のミラー対を構成するミラーとは、共通の光軸に沿って配置されていることを特徴とする請求項1乃至9の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項11】前記第1反射光学系と前記第2反射光学系とは、光軸方向に所定の間隔を持つように配置されることを特徴とする請求項1乃至10の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項12】前記反射縮小投影光学系を構成する複数のミラーのうち、少なくとも2つのミラーは該ミラーの基準軸に関して対称な外径を有していることを特徴とする請求項1乃至11の何れか一項記載の反射縮小投影光学系。

【請求項13】所定波長の光を投影原版へ導く照明光学系と、

該照明光学系からの光に基づいて、前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する投影光学系とを備え、前記投影光学系は、請求項1乃至12の何れか一項記載の反射縮小投影光学系であり、前記反射縮小投影光学系に対して前記投影原版及び前記感光性基板を相対的に移動させて露光を行うことを特徴とする投影露光装置。

【請求項14】所定波長の光を投影原版へ導き、該光に基づいて前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する露光方法において、

請求項1乃至12の何れか一項記載の反射縮小投影光学系を用いて前記縮小像を前記感光性基板上に形成し、該縮小像を前記感光性基板上で走査させることを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、半導体素子や液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッドなどのデバイスをリソグラフィ工程により製造する際に用いられる露光装置及び露光方法、これらの露光装置及び方法に好適な反射縮小投影光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体の製造や半導体チップ実装基板の製造ではますます微細化しており、これらのパターンを焼き付ける露光装置はより解像力の高いものが要求されてきている。この要求を満足するためには、光源の波長を短波長化し、かつ NA（光学系の開口数）を大きくしなければならぬ。しかしながら、波長が短くなると光の吸収のため実用に耐える光学ガラスが限られてくる。さらに、短波長の紫外線や X 線になると、使用できる光学ガラスは存在しなくなる。このような場合、屈折光学系だけでなく、または反射屈折光学系で縮小投影光学系を構成することは、まったく不可能となる。

【0003】そのため、反射系のみで投影光学系を構成する反射縮小光学系が例えば特開平9-211332号公報に提

案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平9-21132号公報に開示されている投影光学系は、凹凸凹の反射鏡からなる2組の光学系により構成されており、2組の縮小投影系の間で中間像を形成するものである。特開平9-21132号の投影光学系は、全体として6面の反射面を有しているため、収差補正の自由度は高いが、反射面の数が多すぎるため光量ロスが多い問題点がある。さらに投影光学系全体の結像性能は、各反射面の製造誤差により発生する収差により低下するため、反射面の数が多すぎると各反射面の公差を極めて厳しく抑えなければならず、製造が困難である問題点がある。従って、光学設計上での結像性能は高いが実際に製造されたものの結像性能が十分でなくなる恐れがある。

【0005】そこで、本発明は、比較的反射面の数が少なく抑えつつも極めて優れた結像性能を達成し、さらに実際に製造されたものの結像性能も向上させることを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明の請求項1にかかる反射縮小投影光学系は、第1面上の物体を第2面上に結像する第1反射光学系と、前記第2面上の像を第3面上に結像する第2反射光学系とを備え、第3面上に第1面上の物体の縮小像を形成する反射縮小投影光学系であって、前記第1反射光学系は2つのミラーからなる第1ミラー対からなり、前記第2反射光学系は凸面鏡及び凹面鏡からなる第2ミラー

(1) $-0.005 < (C1 - C2) < 0.005$

(2) $-0.005 < (C3 - C4) < 0.005$

(3) $-0.005 < (C1 - C2) + (C3 - C4) < 0.005$

の条件式を満足するものである。

【0010】また、本発明の請求項9にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1反射光学系は2枚のミラーのみからなり、前記第2反射光学系は2枚のミラーのみからなるものである。また、本発明の請求項10にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1のミラー対を構成するミラーと前記第2のミラー対を構成するミラーとは、共通の光軸に沿って配置されるものである。

【0011】また、本発明の請求項11にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1反射光学系と前記第2反射光学系とは、光軸方向にそって所定の間隔を持つように配置されるものである。また、本発明の請求項12にかかる反射縮小投影光学系では、反射縮小投影光学系を構成する複数のミラーのうち、少なくとも2つのミラーは該ミラーの基準軸に関して対称な外径を有しているものである。

【0012】また、本発明の請求項13にかかる投影露光装置は、所定波長の光を投影原版へ導く照明光学系と、該照明光学系からの光に基づいて、前記投影原版の

一対からなり、前記第1及び第2ミラー対は、前記第1面からの光が前記第1ミラー対を経由した後前記第2面上に中間像を形成し、該中間像からの光が前記凸面鏡及び前記凹面鏡の順で前記第2ミラー対を通過して前記第3面へ向かうように位置決めされるものである。

【0007】また、本発明の請求項2にかかる反射縮小投影光学系は、第2面上に視野絞りか電置されるものである。また、本発明の請求項3にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1反射光学系が縮小倍率を有するものである。また、本発明の請求項4にかかる反射縮小投影光学系では、前記第2反射光学系が縮小倍率を有するものである。

【0008】また、本発明の請求項5にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1ミラー対を構成する2つのミラーのそれぞれの頂点の間に位置する開口絞りをさらに有し、該開口絞りは、該開口絞りに入射する光束の全周を囲む形状を有するものである。また、本発明の請求項6にかかる反射縮小投影光学系では、前記開口絞りは、前記第3面側がテレスコピックとなるように位置決めされる。

【0009】また、本発明の請求項7にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1ミラー対は、前記中間像側に凹面を向けた凹面鏡を有するものである。また、本発明の請求項8にかかる反射縮小投影光学系では、前記第1ミラー対を構成する2つのミラーの曲率をそれぞれC1、C2とし、前記第2ミラー対中の前記凸面鏡の曲率をC3、前記第2ミラー対中の前記凹面鏡の曲率をC4とすると、

縮小像を感光性基板上に形成する投影光学系とを備えるものであって、投影光学系は、請求項1乃至12の何れか一項記載の反射縮小投影光学系であり、前記反射縮小投影光学系に対して前記投影原版及び前記感光性基板を相対的に移動させつつ露光を行うものである。

【0013】また、本発明の請求項14にかかる露光方法は、所定波長の光を投影原版へ導き、該光に基づいて前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する露光方法であって、請求項1乃至12の何れか一項記載の反射縮小投影光学系を用いて前記縮小像を前記感光性基板上に形成し、該縮小像を前記感光性基板上で定着させるものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の基本的な構成について図1を参照して説明する。図1は後述の第1実施例にかかる反射縮小投影光学系の横断面の光路図であり、図1では光束の幅は横断面のみを表している。図1に示すように、本発明の反射縮小投影光学系100は、第1面11上の物体を第2面12上に結像する第1反射光学

系10と、第2面12上の像を第3面13上に結像する第2反射光学系20とを備える構成を基本とし、第3面13上に第1面11上の物体の縮小像を形成するものである。そして、第1反射光学系10は2つのミラーからなる第1ミラー対M1、M2からなり、第2反射光学系20は凸面鏡M3及び凹面鏡M4からなる第2ミラー対からなる。

【0015】そして、第1面11からの光は、第1ミラー対M1、M2を経由した後に第2面12上に中間像を形成し、この中間像からの光は凸面鏡M3及び凹面鏡M4の順で第2ミラー対M3、M4を通過して第3面13へ向かう。このように構成することにより、第2面12上に視野絞りFSを配置することが可能となり、また、第1ミラー対M1、M2の頂点（反射面上において反射面の基準軸と交差する点）の間に開口絞りASを配置することが可能となる。

【0016】ここで、第1面12上に視野絞りFSを配置した場合には、第1面11上を照明する照明系中の視野絞りを設ける必要がなくなる。また、本発明においては、開口絞りASは、第1面11と第1ミラー対中で最も第1面11側の反射面M1との間の光路中に配置されることが好ましい。この場合、本発明の光学系が全体として縮小倍率を有していることから、第1面側では光束の幅は狭く抑えられており、この部分に開口絞りASを配置できると、開口絞りASを保持する機械部品による投影光路への干渉を避けることが可能である。さらにこの場合には、開口絞りASの開口部形状を、開口絞りASを通過する光束の全周を囲む形状とすることができ、通常の開口絞りの構成を採用することができ、このとき、開口絞りASの光軸方向の位置は、第3面13側がテレセントリックとなるように位置決めされることが好ましい。

【0017】また、本発明においては、第1反射光学系10が縮小倍率を有することが好ましく、第2反射光学系20が縮小倍率を有することが好ましい。このように構成することにより、全体の反射縮小光学系の縮小倍率を各反射光学系で分担できるため、各反射光学系の負担を軽くすることができる。また、本発明においては、第1ミラー対M1、M2は、中間像側（第2面12側）に凹面を向けた凹面鏡M2を有することが好ましい。

【0018】この構成の場合、凹面鏡M2、凸面鏡M3及び凹面鏡M4が見かけトファナー型光学系に近くなるが、この構成の場合では凹面鏡M2から凸面鏡M3までの間に中間像を形成する構成であるため、トファナー型光学系とは収差の補正原理が異なる。すなわち、トファナー型光学系を変形して縮小倍率で用いるようにした光学系（以下、変形トファナー型縮小光学系と呼ぶ）では、凹面鏡の反射面のそれぞれで生じる収差を互いに相殺するように構成されている。しかしながら、本発明が上記構成をとる場合には、第1面側の凹面鏡M2へ入射する光線

の角度は、変形トファナー型光学系と比較して、凹面鏡M2の光軸（基準軸）に対してさらに角度がつくように入射する。つまり、凹面鏡M2への入射光線と凹面鏡M2からの射出光線とがなす角度が変形トファナー型光学系とは全く逆方向となる。

【0019】このことから、上記構成の場合では、第1ミラー対中の凹面鏡M2の反射面での入射及び射出光線の振る舞いが、凸面鏡M3及び凹面鏡M4で発生する収差を凹面鏡M2で相殺するような補正の仕方をする変形トファナー型光学系とは全く逆方向となる。この構成において、第1ミラー対中の凹面鏡M2は、第1ミラー対中の別のミラーM1と第2面12との間の光路中に配置されることが好ましい。上述のように凹面鏡M2に対して光軸との角度をつけるように光線を入射させる場合には、ミラーM1での反射により、第1面11からミラーM1へ向かう光束と、ミラーM1から凹面鏡M2へ向かう光束及び凹面鏡M2から第2面12へ向かう光束とを物理的に分離しやすくなる。これにより、第1面11からミラーM1へ向かう光路中に開口絞りASを配置することが容易となる。

【0020】さて、本発明において、さらなる光学性能を達成するためには、像面のコンローロールを行うことが望ましい。この像面をなるべく平坦にするためには、各反射光学系10、20のベッツパール和を極力小さくすることが良い。従って、第1反射光学系10に関しては、第1ミラー対を構成する2つのミラーM1、M2の曲率をそれぞれC1、C2とすると、

$$(1) \quad -0.005 < (C1 - C2) < 0.005$$

を満足することが好ましい。

【0021】ここで、上記条件式(1)の下限を逸脱すると、第2面12に形成される中間像が凹に湾曲しすぎ、第2反射光学系20中の凸面鏡M3で補正できる範囲を越えてしまうことになり、視野絞りの像の劣化をもたらす。また、条件式(1)の上限を逸脱すると、第2面12上の中間像面が凸に湾曲しすぎ、第2反射光学系20中の凹面鏡M4で補正できる範囲を越えてしまうことになり、視野絞りの像の劣化をもたらす。

【0022】また、第2反射光学系20に関しては、第2ミラー対中の凸面鏡M3の曲率をC3、第2ミラー対中の凹面鏡の曲率をC4とすると、

$$(2) \quad -0.005 < (C3 - C4) < 0.005$$

を満足することが好ましい。上記条件式(2)の下限を逸脱すると、第3面上の像面が凹に湾曲しすぎ、第2ミラー対中の凸面鏡M3で補正できる範囲を越えてしまうことになる。一方、条件式(2)の上限を逸脱すると、第3面の像面が凸に湾曲しすぎ、両ミラー対中の凹面鏡M4で補正できる範囲を越えてしまうことになる。

【0023】そして、反射縮小投影光学系100全体では、2つのミラー対10、20にて発生するベッツパール和を互いに相殺するように構成することが好ましく、

$$(3) \quad -0.005 < (C1 - C2) + (C3 - C4) < 0.005$$

を満足することが好ましい。上記条件式(3)の下限を逸脱すると、像面が凹に湾曲しすぎ、凸面鏡M3で補正できる範囲を越えてしまうことになる。また、条件式(3)の上限を逸脱すると、像面が凸に湾曲しすぎ、凹面鏡M2、M4で補正できる範囲を越えてしまうことになる。

【0024】ここで、以上の条件式(1)～(3)を同時に満足する構成とした場合には、像面の湾曲を極めて良好に補正することができる。また、本発明においては、第1反射光学系10は2枚のミラーM1、M2のみからなり、第2反射光学系20は2枚のミラーM3、M4のみからなることが好ましい。これにより、本発明の反射縮小投影光学系100を、波長5～15nmの軟X線領域の光(本明細書では、この光を「EUV(Extreme Ultra Violet)光」と呼ぶ)や、この波長以下の硬X線領域の光を露光光として用いる投影露光装置に適用した場合、当該波長域における反射膜の反射率が低くても、反射面数が4面だけなので有用十分な光量を確認することができる。さらに、反射面の面形状誤差による結像性能の劣化を招く恐れが少なくなる利点もある。

【0025】また、本発明においては、第1のミラー対を構成するミラーM1、M2と、第2のミラー対を構成するミラーM3、M4とは、共通の光軸Aに沿って配置されることが好ましい。これにより、各ミラーM1～M4の鏡面組み込み・調整が容易となる。また、本発明においては、第1反射光学系10と第2反射光学系20とは、光軸方向に所定の間隔を持つように配置されることが好ましい。これにより、各ミラーM1～M4の間に形成される往復光路を少なくすることができるため、結果としてオフ・アクシス形状(基準軸に対して非対称な外形を有する形状)のミラーを少なくすることができ、

【0026】また、本発明においては、反射縮小投影光学系100を構成する複数のミラーM1～M4のうち、少なくとも2つのミラーM1、M4はこれらミラーの基準軸に関して対称な外形を有していることが好ましい。これにより、ミラー製造時の作業の困難性が減り、かつ組み込み・調整作業が容易となる。また、本発明においては、複数のミラーの全ての表面形状を回転対称な非球面形状とすることが好ましい。

【0027】次に、図2を参照して、本発明にかかる反射縮小投影光学系100を組み込んだ投影露光装置について説明する。図2には、本発明にかかる反射縮小光学系100を組み込んだ投影露光装置EXの全体構成が概略的に示されている。この投影露光装置EXは、露光用の照明光として波長5～15nm程度の軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。なお、図2においては、投影原版としての反射型レチクルRの縮

小像をウエハW上に形成する反射縮小投影光学系系Rの光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する紙面内方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。

【0028】この投影露光装置EXは、投影原版(マスク)としての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を反射縮小投影光学系100を介して感光性基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを反射縮小投影光学系100に対して1次元方向(ここではY軸方向)に相対直走することによって、反射型レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0029】ここで、本実施形態における露光用の照明光であるEUV光は、大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は真空チャンバーVCにより覆われて外気より遮断されている。また、図2における照明光学系について説明する。レーザ光源30は、赤外線～可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザ駆動によるYAGレーザやエキシマレーザなどを適用できる。このレーザ光は集光光学系31により集光されて、位置32に集光する。ノズル33は気体状の物体を位置32へ向けて噴出し、この噴出した物体は位置32において高強度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

【0030】この位置32の周囲には、集光光学系を構成する楕円鏡34が配置されており、この楕円鏡34は、その第1焦点が位置32とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡34の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡34の第2焦点で一度集光した後、集光光学系を構成する放物面鏡35へ向かう。放物面鏡35は、その焦点が楕円鏡34の第2焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられている。

【0031】放物面鏡35から射出されるEUV光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレートとしての反射型フライアイ光学系36へ向かう。反射型フライアイ光学系36は、複数の反射面を具備してなる第1の反射素子群36aと、第1の反射素子群36aの複数の反射面と対応した複数の反射面を有する第2の反射素子群36bとで構成されている。これら第1及び第2の反射素子群36a、36bを構成する複数の反射面にもEUV光を反射させるための多層膜が設けられている。

【0032】放物面鏡35からのコリメートされたEUV

V光は、第1の反射素子群36aにより波面分割され、各々の反射面からのEUV光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第2の反射素子群36bの複数の反射面が位置決めされており、これら第2の反射素子群36bの複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系36は、放物面鏡35からの略平行光束に基づいて、2次光源としての多数の光源像を形成する。尚、このような反射型フライアイ光学系36については、本願出願人による特願平10-47400号に提案されている。

【0033】本実施形態では、2次光源の形状を制御するために、第2の反射素子群36b近傍にσ絞りAS1が設けられている。このσ絞りAS1は、例えば互いに形状が異なる複数の開口部をターゲット上に設けたものからなる。そして、σ絞り制御ユニットASC1により、どの開口部を光路内に配置するかの制御が行われる。

【0034】さて、反射型フライアイ光学系36により形成された2次光源からのEUV光は、この2次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー37へ向かい、このコンデンサミラー37にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー38を介して、反射型レチクルR上に達する。これらコンデンサミラー37及び光路折り曲げミラー38の表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー37は、2次光源から発するEUV光を集光して、反射型レチクルRを重畳的に均一照明する。

【0035】なお、本実施形態では、反射型レチクルRへ向かう照明光と、該反射型レチクルRにて反射されて投影系9へ向かうEUV光との光路分離を空間的に行うために、照明系は非テレセントリック系であり、かつ反射縮小投影光学系10もレチクル側非テレセントリックな光学系としている。さて、反射型レチクルR上には、EUV光を反射する多層膜からなる反射膜が設けられており、この反射膜は、感光性基板としてのウエハW上へ転写すべきパターンに忠じたパターンとなっている。この反射型レチクルRにて反射されて、反射型レチクルRのパターン情報を含むEUV光は、反射縮小投影光学系100に入射する。

【0036】反射縮小投影光学系100は、前述において説明した通り、ミラーM1～M4の4枚構成からなり、ミラーM1と反射型レチクルRとの間の光路中（ミラーM1とミラーM2との頂点の間）に可変開口絞りAS2が配置されている。この可変開口絞りAS2は、その開口部の径が可変となるように構成されており、その径は可変開口絞り制御ユニットASC2により制御される。

【0037】また、ミラーM2とミラーM3との間の光路中の中間像形成位置には視野絞りFSが配置されている。なお、反射縮小投影光学系100を構成するミラー

M1～M4は、基材上にEUV光を反射する多層膜を設けたものからなる。反射型レチクルRにて反射されたEUV光は、反射縮小投影光学系100を通過して、ウエハW上の円盤形状の露光領域内に、所定の縮小倍率β（例えば $|\beta| = 1/4, 1/5, 1/6$ ）のもとで反射型レチクルRのパターンの縮小像を形成する。なお、本実施形態においては、露光領域の形状は、反射縮小投影光学系100内に設けられた視野絞り100により規定される。

【0038】また、反射型レチクルRは少なくともY方向に沿って移動可能なレチクルステージRSにより支持されており、ウエハWはXYZ方向に沿って移動可能なウエハステージWSにより支持されている。これらのレチクルステージRS及びウエハステージWSの移動は、それぞれレチクルステージ制御ユニットRSC及びウエハステージ制御ユニットWSCにより制御される。露光動作の際には、照明系により反射型レチクルRに対してEUV光を照射しつつ、反射縮小投影光学系100に対して反射型レチクルR及びウエハWを、投影系の縮小倍率により定まる所定の速度比で移動させる。これにより、ウエハW上の所定のショット領域内には、反射型レチクルRのパターンが走査露光される。

【0039】なお、本実施形態において、σ絞りAS1、可変開口絞りAS2、視野絞りFSは、EUV光を十分に遮光するために、Au、Ta、Wなどの金属から構成されることが好ましい。

【0040】

【実施例】以下、本発明にかかる反射縮小投影光学系の数値実施例について説明する。図1は第1実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図であり、図4は第2実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図である。なお、図1及び図4において、横断面における光束の幅のみを示している。

【0041】第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系100は、第1面11上の物体の縮小像を第2面12上に結像する第1反射光学系10と、第2面12上の像を第3面13上に縮小結像する第2反射光学系20とを有している。第1反射光学系10は、2つのミラーM1、M2からなる第1ミラー対を有しており、第2反射光学系20は、それぞれ回転対称非球面形状の凸面鏡M3及び凹面鏡M4からなる第2ミラー対を有している。ここで、ミラーM1は、図1の第1実施例では近軸上においてパワを有しない回転対称非球面形状であり、図4の第2実施例では凸面形状を有する回転対称非球面である。また、ミラーM2は凹面形状を有する回転対称非球面である。

【0042】ここで、各ミラーM1～M4は、共通の光軸Axに沿って互いに共軸となるように配置されており、この光軸Ax上であって第1面11とミラーM1との間の光路中には開口絞りASが配置される。そして、

第1面11からの光は、開口絞りAS、ミラーM1、ミラーM2を順に通過して第2面12上に縮小像を形成し、この縮小像からの光は、ミラーM3、ミラーM4を順に通過して第3面13に達し、この第3面上に縮小像を形成する。

【0043】上述の通り、第1及び第2実施例におけるミラーM1～M4は非球面形状を有しているが、この非球面形状は次式で表される。

【0044】

【数1】

$$Y = \frac{c \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k) \cdot c^2 r^2}} + A r^4 + B r^6 + C r^8 + D r^{10}$$

【0045】ここで、

Y は中心接平面から非球面までの距離、

c は中心曲率

r は光軸からの距離

k はコンニク定数

A は4次の非球面係数

B は6次の非球面係数

C は8次の非球面係数

D は10次の非球面係数

である。

【0046】なお、第1実施例の反射縮小投影光学系は、縮小倍率 $|\beta|$ が1/4倍、像側の開口数NAが0.1、最大物体高は120mmであり、露光領域は半径30mmで幅1mmの輪帯形状を有している。ここで、走査露光を行うことにより、全体として26×33mmのショット領域に対して露光を行うことができる。また、物体面としての第1面と最終像面としての第3面との間の距離は1451mmであり、複数のミラーM1～M4の有効径のうち、最大有効径は542mmであ

る。

【0047】また、第2実施例の反射縮小投影光学系は、縮小倍率 $|\beta|$ が1/4倍、像側の開口数NAが0.1、最大物体高は60mmであり、露光領域は半径15mmで幅1mmの輪帯形状を有している。ここで、走査露光を行うことにより、全体として26×33mmのショット領域に対して露光を行うことができる。また、物体面としての第1面と最終像面としての第3面との間の距離は1279mmであり、複数のミラーM1～M4の有効径のうち、最大有効径は306mmである。

【0048】以下の表1乃至表4に第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系の諸元の値を掲げる。表1及び表3において、左端には各反射面の面番号を示し、RDYは各光学面の曲率半径、THIは各反射面間の面間隔を示す。そして、RDYの列に各反射面の近軸曲率半径を表し、THIの列に各面間隔を表している。また、表1及び表3中において、D0は第1面11（レチクル面）から最も第1面側の光学面までの距離、WDは最も第3面側の光学面から第3面（最終像面）までの距離、 β は第1面側から反射縮小投影光学系へ光が入射するときの反射縮小投影光学系の横倍率、NAは第3面側の開口数をそれぞれ表している。なお、表1及び表2において、近軸曲率半径RDYの符号は第1面11側に向けて凸となる場合を正とし、面間隔THIは反射面の前後で符号が反転するものとしている。

【0049】また、表2及び表4には、第1及び第2実施例の各ミラーM1～M4の非球面データを示す。

【0050】

【表1】

【第1実施例】			
D0	=	430.079395	
WD	=	642.640534	
$ \beta $	=	0.2498	
NA	=	0.1	
面番号	RDY	THI	
0	∞	430.079395	第1面11（物体面）
1	∞	328.252083	開口絞りAS
2	∞	-567.459189	ミラーM1
3	1042.96191	871.304731	ミラーM2
4	∞	293.356081	第2面12（中間像面）
5	409.29671	-547.201623	ミラーM3
6	655.87223	642.640534	ミラーM4
7	∞		第3面13（最終像面）

【0051】

【表2】

【表2】

【第1実施例の非球面データ】

<ミラーM1>

$$\begin{aligned}
 k &= 0.0 \\
 A &= -0.880484 \times 10^{-18} \\
 B &= 0.574681 \times 10^{-14} \\
 C &= -0.649958 \times 10^{-10} \\
 D &= 0.458803 \times 10^{-24}
 \end{aligned}$$

<ミラーM2>

$$\begin{aligned}
 k &= 0.0 \\
 A &= -0.470138 \times 10^{-10} \\
 B &= -0.817504 \times 10^{-16} \\
 C &= -0.203738 \times 10^{-42} \\
 D &= -0.678385 \times 10^{-27}
 \end{aligned}$$

<ミラーM3>

$$\begin{aligned}
 k &= 0.0 \\
 A &= 0.832308 \times 10^{-38} \\
 B &= 0.103672 \times 10^{-12} \\
 C &= -0.175930 \times 10^{-18} \\
 D &= 0.700374 \times 10^{-20}
 \end{aligned}$$

<ミラーM4>

$$\begin{aligned}
 k &= 0.0 \\
 A &= 0.162223 \times 10^{-18} \\
 B &= 0.692754 \times 10^{-16} \\
 C &= -0.622519 \times 10^{-41} \\
 D &= 0.193427 \times 10^{-25}
 \end{aligned}$$

【第2実施例】

$$DO = 421.533199$$

$$WD = 626.912313$$

$$|B| = 0.2500$$

$$NA = 0.1$$

面番号	RDY	THI	
0	∞	421.533199	第1面11 (物体面)
1	∞	195.113908	開口絞りAS
2	2430.13474	-533.860357	ミラーM1
3	894.29705	851.779609	ミラーM2
4	∞	271.729305	第2面12 (中間像面)
5	449.09562	-553.918512	ミラーM3
6	651.05560	626.912313	ミラーM4
7	∞		第3面13 (最終像面)

【0053】

【表4】

【表4】

【第2実施例の非球面データ】

<ミラー-M1>

k = 0.0

A = $-0.469482 \times 10^{-08}$ B = 0.126696×10^{-12} C = $-0.200847 \times 10^{-16}$ D = 0.296244×10^{-20}

<ミラー-M2>

k = 0.0

A = $-0.551632 \times 10^{-12}$ B = $-0.534445 \times 10^{-16}$ C = $-0.209735 \times 10^{-20}$ D = 0.217365×10^{-25}

<ミラー-M3>

k = 0.0

A = 0.627931×10^{-06} B = $-0.285097 \times 10^{-12}$ C = 0.382388×10^{-16} D = $-0.187878 \times 10^{-18}$

<ミラー-M4>

k = 0.0

A = 0.573586×10^{-11} B = 0.668044×10^{-16} C = 0.250251×10^{-20} D = $-0.168080 \times 10^{-24}$

第1実施例

C1	0.000000
C2	0.0009588
C3	0.0024432
C4	0.0015246
(1) (C1-C2)	-0.000959
(2) (C3-C4)	0.000919
(3) (C1-C2)+(C3-C4)	-0.000040

第2実施例

0.0004115
0.0011182
0.0022267
0.0015359
-0.000707
0.000691
-0.000016

図3及び図5に、第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系の第1面上でのコマ収差図を示す。このコマ収差図は、波長13.4nmの光を用いて第3面側から光線追跡することにより得られている。ここで、図3(a)は物体高Y=12.2mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3(b)は物体高Y=12.0mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3(c)は物体高Y=11.8mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3(d)は物体高Y=12.2mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図3(e)は物体高Y=12.0mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図3(f)は物体高Y=11.8mmにおけるサジタル方向のコマ収差図である。また、図5(a)は物体高Y=6.2mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5(b)は物体高Y=6.0mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5(c)は物体高Y=5.8mmにおけるメリジオナル方向

【0054】以下の表4に第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系の条件対応数値を掲げる。

【0055】

【表5】

のコマ収差図、図5(d)は物体高Y=6.2mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図5(e)は物体高Y=6.0mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図5(f)は物体高Y=5.8mmにおけるサジタル方向のコマ収差図である。

【0056】図3及び図5からも明らかな通り、第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系は、EUV光の13.4nmの単波長において、球面収差、コマ収差ともほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、かつ露光領域内におけるディストーションも良好に補正されている。さて、上記第1及び第2実施例では、各ミラーM1～M4を光軸回転対称な高次非球面形状として、各ミラーM1～M4にて発生する高次収差を補正して良好な結像性能を達成している。ここで、各ミラーの反射面の面形状誤差や反射縮小投影光学系の製造時における組み立て誤差等に起因する回転非対称な収差成分を補正するた

めに、回転対称非球面を回転非対称な非球面としても良い。

【0057】また、上述の第1及び第2実施例では、使用波長としてEUV光の13、4nmを用いているが、本発明にかかる反射縮小投影光学系はEUV光のもとでの使用には限られない。本発明にかかる反射縮小投影光学系は、例えば5nm以下の硬X線領域や、100nm～200nmの真空紫外領域においても使用可能である。ここで、硬X線領域の光源としては、例えばシンクロトロン放射光などが使用でき、真空紫外領域の光源としては、ArFエキシマレーザ（波長193nm）、F2エキシマレーザ（波長157nm）などを用いることができる。

【0058】また、上述の第1及び第2実施例では、第1反射光学系を縮小倍率とし、第2反射光学系を縮小倍率としているが、例えば第1反射光学系を縮小倍率とし、第2反射光学系を等倍または拡大倍率とすることや、第1反射光学系を等倍または拡大倍率とし、第2反射光学系を縮小倍率としても良い。さて、上述の各実施例では、第1面11とミラーM1との間の光路中に開口絞りを配置する構成としたが、第1面11からミラーM1へ向かう光路とミラーM1からミラーM2へ向かう光路との光軸直交方向の間隔が狭くなる場合には、光束の全周を覆う形状の開口絞り（円形開口を持つ開口絞り）を配置することが困難となる場合がある。この場合には、例えば特開平6-230287号公報において提案されているように、第1反射光学系10中に光束の周縁の一部を規定する開口絞りを設け、第2反射光学系20中に光束の周縁の他部を規定する開口絞りを設ければ良い。このとき、図6に示す如く、第1反射光学系10中の開口絞りS1は図1の反射縮小投影光学系の開口絞り位置に配置すれば良く、第2反射光学系20中の開口絞りS2は

ミラーM3からミラーM4へ向かう光束中の主光線が光軸Axを横切る位置近傍に配置すれば良い。

【0059】このように本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成をとり得る。

【0060】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、従来のオフナー型や変形オフナー型とは異なる収差補正原理を用いることにより、比較的に反射面の数が少なく抑えつつも極めて優れた結像性能を達成し、さらに実際に製造されたものの結像性能も向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図である。

【図2】本発明の反射縮小投影光学系を備えた露光装置の構成を示す図である。

【図3】第1実施例のコマ収差図である。

【図4】第2実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図である。

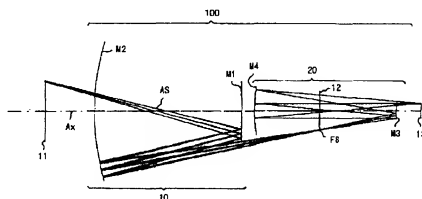
【図5】第2実施例のコマ収差図である。

【図6】反射縮小投影光学系の変形例の光路図である。

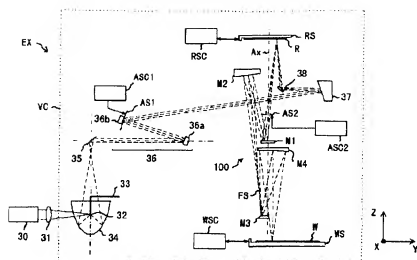
【符号の説明】

- 10：第1反射光学系
- 11：第1面
- 12：第2面
- 13：第3面
- 20：第2反射光学系
- 100：反射縮小投影光学系
- AS：開口絞り
- Ax：光軸
- FS：視野絞り
- M1～M4：ミラー

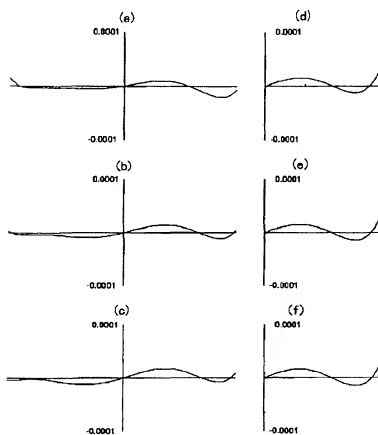
【図1】



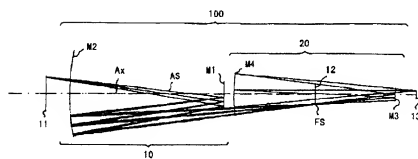
【図2】



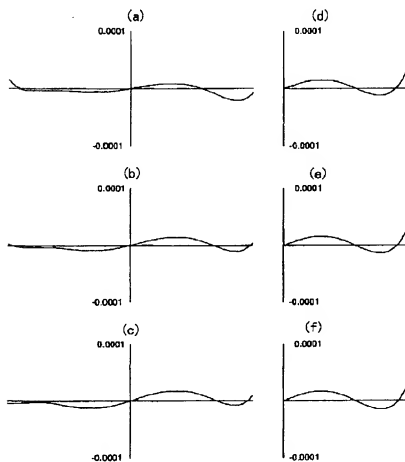
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

